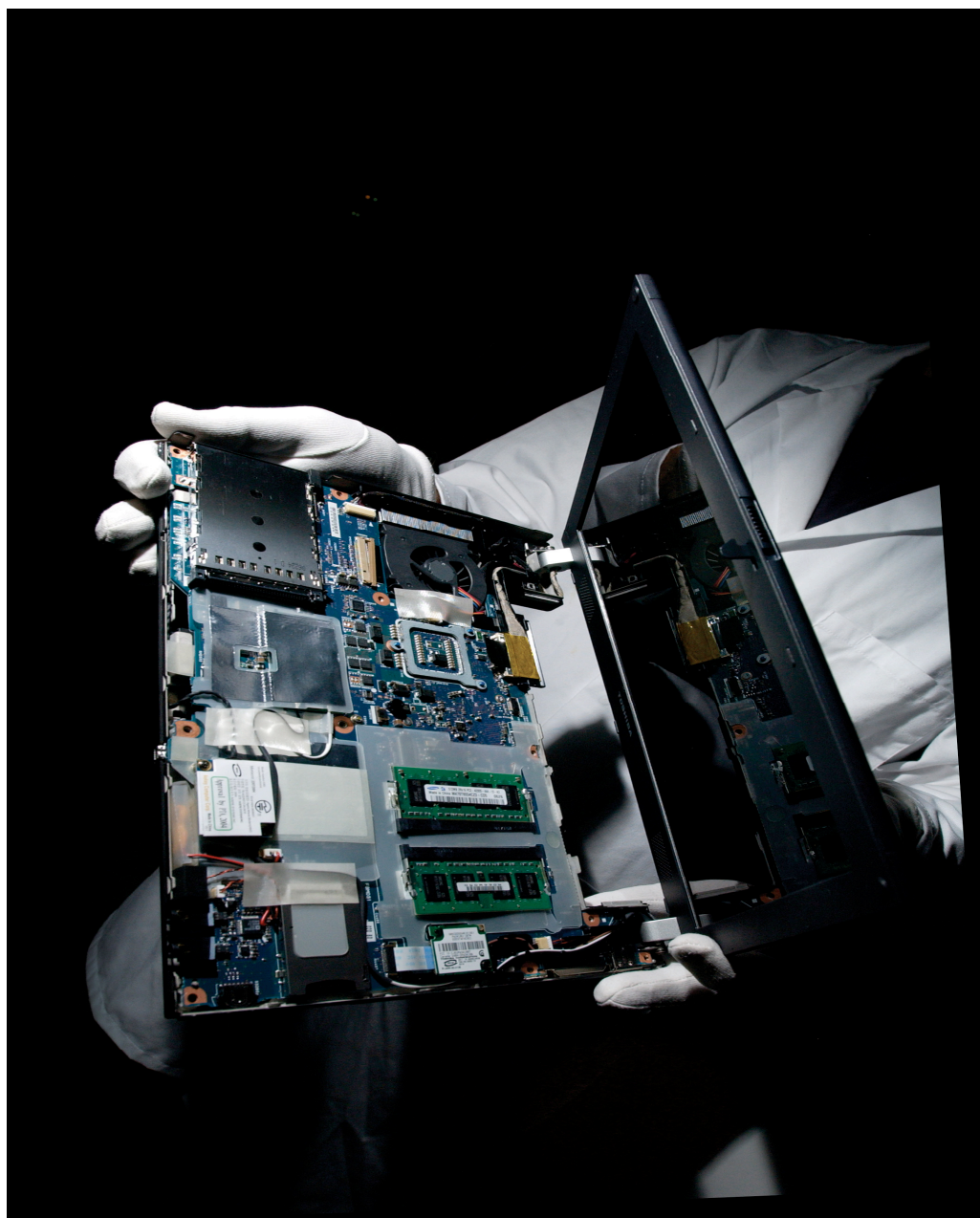


# Analyse de substances dangereuses dans des ordinateurs portables de grandes marques

## Résumé du rapport

Kevin Brigden, Joe Webster,  
Iryna Labunska et David Santillo



Greenpeace – Laboratoires de recherche Note Technique 06/07 – Septembre 2007

**Rapport original : « Toxic Chemicals in Computers – *Reloaded* » disponible sur [www.greenpeace.org/international/campaigns/toxics/electronics](http://www.greenpeace.org/international/campaigns/toxics/electronics)**

**Traduction : Alex Freiszmuth**

**Relecture et édition : Yannick Vicaire**

**Photo de couverture : Toshiba mis à nu – encore intact, vue sous le clavier. © Greenpeace/Rose**

## Résumé du rapport

L'utilisation de substances chimiques dangereuses dans les produits de consommation préoccupe de plus en plus le grand public, en particulier sur le contenu chimique des équipements électriques et électroniques. Certains de ces produits, comme les ordinateurs, sont susceptibles de contenir des métaux lourds et d'autres substances chimiques dangereuses dans leurs nombreux composants. Continuer d'utiliser de telles substances pourrait avoir des impacts sur l'environnement et la santé humaine suite à leur dispersion lors de la production, de l'utilisation ou de l'élimination des biens de consommation concernés.

En 2006, Greenpeace avait identifié diverses substances chimiques toxiques dans des ordinateurs portables en vente en Europe, quelques temps avant l'introduction de la directive dite RoHS (ainsi nommée d'après son intitulé en anglais « Restriction of Hazardous Substances », en français « Limitation des substances dangereuses ») réglementant l'utilisation de certaines substances chimiques dangereuses dans les produits électriques et électroniques commercialisés dans l'UE. La Chine a récemment mis en place une législation similaire.

La présente étude a été effectuée par Greenpeace postérieurement à l'introduction de ces législations, pour vérifier la présence de plusieurs substances dangereuses dans un certain nombre d'ordinateurs portables en vente dans l'UE et d'autres pays d'Europe, d'Asie et d'Amérique du Nord et du Sud.

Au total, 18 ordinateurs portables de 6 grandes marques différentes ont été achetés entre juillet et septembre 2006. Quand cela a été possible, le même modèle a été acheté pour chaque marque dans différents pays, afin de déterminer si la présence de substances chimiques dangereuses varie selon les pays. Quand il n'a pas été possible d'acheter le même modèle pour l'étude, le modèle le plus proche de la même gamme a été acheté. Les ordinateurs portables qui ont fait l'objet de cette étude sont indiqués dans le tableau qui suit :

Marque	Modèle	Pays d'achat
Dell	Latitude D420	Chine, Allemagne*, États-Unis
Sony	Vaio TX	Suède*, Japon
Apple	Macbook 1.83 Ghz	Philippines, Russie, Pays-Bas*, États-Unis
Acer	Aspire 5562 WXM	Chine, Thaïlande, Pologne*
	Aspire 5672 WLM	Pays-Bas*
Hewlett Packard (HP)	Pavilion dv8375LA	Mexique
	Pavilion dv8275LA	Argentine
	Pavilion dv8365ea	France*
	Pavilion dv8000t	États-Unis
Toshiba	Satellite U200	Royaume-Uni*

(\*pays de l'UE)

Certaines substances dangereuses ont été recherchées dans divers matériaux et composants internes et externes équivalents, pour chaque ordinateur portable. Le choix des substances à rechercher s'est appuyé en partie sur celles que visent les législations européennes et chinoises qui réglementent, chacune à sa façon, la présence de certaines substances chimiques dangereuses dans les équipements électriques, mais d'autres substances chimiques préoccupantes ont été ajoutées à notre liste pour cette étude :

- les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium et chrome hexavalent)\*
- le brome, indicateur de la présence de retardateurs de flamme bromés (RFB)
- quatre retardateurs de flamme bromés (RFB) spécifiques\*\*
- le PVC (polychlorure de vinyle)
- les esters de phtalates (phtalates)

\* *Les législations européennes et chinoises réglementent ces substances*

\*\* *Les législations européennes et chinoises réglementent certains de ces RFB*

### **La directive européenne RoHS et ses équivalents législatifs**

La Directive européenne relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, dite Directive RoHS (Directive 2002/95), est entrée en vigueur le 1er juillet 2006. Cette directive interdit, malgré certaines exemptions, la mise sur le marché de l'UE d'équipements de ce type s'ils contiennent davantage que les quantités réglementaires de plomb, de mercure, de cadmium et de chrome hexavalent (chrome VI), ou de deux types de retardateurs de flamme bromés, à savoir les polybromobiphényles (PBB) et les polybromodiphényléthers (PBDE, à l'exception du congénère décabromé BDE-209). Les maximums autorisés sont fixés à 0,1 % de la masse d'un matériau homogène pour toutes les substances sauf le cadmium, dont le maximum est fixé à 0,01 %. Parmi ses objectifs déclarés, la directive vise entre autre à « contribuer à la protection de la santé humaine et à la valorisation et à l'élimination non polluantes des déchets d'équipements électriques et électroniques. »

Une législation chinoise similaire, baptisée « Administration sur le contrôle de la pollution causée par les produits d'information électronique », est entrée en vigueur le 1er mars 2007. Cette législation vise les mêmes substances chimiques que la directive européenne RoHS ainsi que « d'autres substances ou éléments toxiques et dangereux spécifiés par l'État » bien que jusqu'à présent (mai 2007) aucun autre élément ou substance n'ait été spécifiquement ajouté à la liste initiale. Actuellement, la législation exige l'étiquetage des produits pour indiquer la présence des substances chimiques réglementées et leurs quantités. Au fil du temps la réglementation doit inclure une liste de types de produits spécifiques devant être totalement exempts des substances chimiques réglementées. D'autres différences existent entre les législations européenne et chinoise. Par exemple, dans la législation chinoise, les maximums autorisés concernent des composants individuels et non des matériaux homogènes. De plus, la législation chinoise ne prévoit pas pour le moment d'exemptions.

Au Japon, la législation couramment appelée « J-MOSS » prévoit l'étiquetage, depuis le 1er juillet 2006, de certains produits électriques contenant les mêmes substances que celles réglementées par la directive européenne RoHS.

Les législations nationales mentionnées ci-dessus ne réglementent pas pour le moment l'utilisation de l'ensemble des retardateurs de flamme bromés, ni l'utilisation de phtalates ou de PVC dans les équipements électriques et électroniques. En plus de ces réglementations nationales, d'autres réglementations similaires ont été mises en place dans d'autres juridictions à travers le monde.

Pour chaque ordinateur portable, environ 30 matériaux et composants ont été analysés par spectrométrie de fluorescence X (SFX) pour mesurer leurs concentrations de brome (Br), de cadmium (Cd), de mercure (Hg) et de plomb (Pb). En plus de cela, 10 échantillons de soudure électrique ont été analysés à la recherche de plomb et d'autres métaux, et 8 à 10 composants métalliques ont été analysés

à la recherche de chrome hexavalent (chrome VI), à l'aide d'autres techniques standards. Enfin, 8 à 10 matériaux en plastique ont été analysés à la recherche de PVC (2 à 4 câbles rubans internes ainsi que les gaines de 6 câbles internes et externes), puis parmi ceux-ci 2 matériaux (un câble ruban interne et la gaine en plastique d'un câble externe) ont fait l'objet d'une analyse plus poussée à la recherche de plusieurs phtalates. Pour un ordinateur de chaque marque, 1 à 3 composants contenant du brome ont également été analysés à la recherche de plusieurs RFB extractibles, à savoir des PBDE, des PBB, du HBCD et du TBBPA.

### Résultats :

Les analyses des composants des ordinateurs portables ont mis en évidence les choses suivantes :

- On n'a pas détecté de **plomb**, de **cadmium** ou de **mercure** dans les échantillons d'ordinateur analysés par SFX (avec un seuil de détection de 0,01 % pour le cadmium et 0,05 % pour le plomb et le mercure).
- On n'a pas détecté de **plomb** dans les échantillons de soudure électrique analysés par d'autres méthodes (avec un seuil de détection de 0,1 %). Ces soudures étaient composées de différents mélanges d'autres métaux, dont la composition varie selon l'emplacement où elles sont utilisées dans l'ordinateur.
- On n'a pas détecté de **chrome hexavalent** dans les échantillons métalliques analysés (avec un seuil de détection de 0,1 %)
- Du **brome**, indicateur de la présence de retardateurs de flamme bromés (RFB), a été trouvé dans un grand nombre des matériaux et composants. Plus de 40 % des 523 échantillons analysés au total contenaient du brome (au dessus du seuil de détection de 0,1 %) à des concentrations comprises entre 0,3 et 10 % du poids.
- Parmi toutes les marques soumises aux analyses, les ordinateurs portables Sony sont ceux pour lesquels on a mesuré le moins d'échantillons testés positifs au brome (4 par ordinateur). Pour toutes les autres marques, le nombre d'échantillons testés positifs au brome était plus élevé (entre 11 et 16 échantillons par ordinateur). Les différences entre ces marques sont faibles en ce qui concerne la fréquence de détection de brome dans les composants : les modèles Dell ont la fréquence la plus élevée (14 à 15 échantillons par ordinateur), les modèles HP la plus basse (11 à 12 échantillons par ordinateur).
- Les concentrations réelles de brome dans les différents types d'échantillon (matériaux ou composants spécifiques) tendent à varier entre les ordinateurs d'une même marque autant qu'entre ordinateurs de marques différentes.
- Les différences constatées entre les marques en ce qui concerne la présence et les concentrations de brome ne permettent pas de corrélations généralisables : on observe ainsi des différences entre marques pour certains composants, mais si l'on considère l'ensemble des composants, les marques ne se distinguent pas les unes des autres. Une exception : les ordinateurs Sony pour lesquels on n'a détecté aucune trace de brome dans de nombreux types de composants qui en contenaient chez certaines autres marques (voir toutes), en particulier en ce qui concerne les cartes à circuits imprimés.
- La suppression des retardateurs de flamme bromés des cartes à circuits imprimés est bien souvent perçue comme un problème difficile à résoudre. On a très fréquemment trouvé du brome dans les cartes analysées, sauf dans les ordinateurs portables Sony (détecté dans seulement 1 des 6 types de carte) ainsi que, dans une moindre mesure, dans les ordinateurs Toshiba (détecté dans 2 des 5 types de carte). Chez ces deux marques, les cartes mères en particulier ne contenaient pas de brome à des niveaux détectables. Ces résultats indiquent qu'il est possible d'utiliser des cartes « sans brome » pour un grand nombre d'applications.

- Dans les ordinateurs portables Dell, Apple, Acer et HP, quasiment toutes les cartes testées contenaient du brome, y compris les cartes mères. Les concentrations étaient généralement élevées, et pour des types équivalents de carte à circuits imprimés on a trouvé chez ces quatre marques des fourchettes de concentration similaires.

- **L'analyse SFX** est une technique couramment utilisée pour déterminer la composition de matériaux, mais l'utilisation de cette technique n'est pas toujours facile. Pour certains matériaux non-homogènes complexes, comme les cartes à circuits imprimés, cette étude a démontré qu'une analyse SFX improprement ou incorrectement effectuée peut induire un biais dans le résultat en indiquant l'absence d'un élément comme le brome dans un matériau qui en réalité en contient en forte concentration.

- Certains **retardateurs de flamme bromés** ont été recherchés et mesurés dans un relativement petit nombre d'échantillons (limité à 15 au total à cause du coût des analyses), tirés d'un seul ordinateur de chaque marque, à l'exception d'Apple pour laquelle des échantillons supplémentaires ont été analysés afin d'éclaircir la question des variations importantes des concentrations de brome mesurées dans les échantillons Apple. Du TBBPA et de PBDE ont été identifiés dans 4 de ces 15 échantillons (avec un seuil de détection de 0,5 mg/kg) : ces composés ont été trouvés dans trois échantillons provenant des ordinateurs Apple (deux câbles rubans et une pavé de souris tactile) et l'échantillon unique provenant d'un ordinateur Dell (dans un câble ruban). Ces RFB étaient présent en concentrations bien inférieures à ce que pouvaient représenter les concentrations totales de brome mesurées dans ces échantillons, ce qui implique la prédominance d'autres substances chimiques contenant du brome dans ces matériaux. On n'a pas détecté de PBB ou de HBCD dans les 15 échantillons (avec un seuil de détection de 0,5 mg/kg).

- D'autres composés bromés ont également été identifiés dans certains échantillons. Bien que leurs concentrations n'aient pas été quantifiées, les données indiquent qu'ils étaient également présents en concentrations relativement faibles. Il semble donc probable que la majorité des composés bromés présents dans les échantillons analysés à la recherche de RFB spécifiques soient solidement fixés au matériau polymérique des échantillons, ou soient présents sous forme de retardateurs de flamme oligomériques de poids moléculaire élevé, comme les oligomères époxydiques bromés (BEO), et ne soient donc pas détectables avec les méthodes d'analyse employées.

- Du **PVC** a été trouvé dans 44 % des gaines en plastique des câbles internes et externes (48 des 108 échantillons sur l'ensemble des ordinateurs), le plus souvent dans le revêtement extérieur des câbles externes d'alimentation. Pour chaque marque le nombre d'échantillons contenant du PVC a varié de façon importante d'un ordinateur à un autre : aucune marque n'est ressortie comme contenant spécialement plus ou moins de matériaux contenant du PVC parmi celles étudiées. On n'a pas trouvé de PVC dans le total de 62 câbles rubans prélevés sur les ordinateurs. Bien que le PVC ne soit pas directement toxique, ce plastique pose de véritables problèmes de gestion en tant que déchet en constituant une source d'organochlorés dans les flux de déchets, et pose d'autres problèmes à plusieurs stades de son cycle de vie. De plus, l'utilisation de PVC dans certaines applications nécessite l'utilisation d'additifs chimiques, comme les esters de phtalates (phtalates), couramment utilisés comme plastifiants (ou assouplissants).

- Des **phtalates** ont été trouvés dans les gaines en plastique des câbles externes d'alimentation de l'ensemble des ordinateurs portables à des concentrations allant d'un niveau moyen à très élevé (jusqu'à plus d'un quart du poids total du revêtement plastique). Pour chaque échantillon, un mélange de deux phtalates ou plus a été identifié. Les revêtements plastiques des câbles d'alimentation fournis avec les ordinateurs portables Apple, qui ne semblaient pas faits en PVC, avaient de loin les concentrations totales de phtalates les plus faibles (0,2 à 0,3 % du poids). Les concentrations les plus élevées ont été trouvées dans les câbles fournis avec les ordinateurs portables Acer et HP (18 à 28 %). Les mélanges de phtalates étaient généralement dominés par le di-isononylphtalate (DiNP) et le di-isodécylphtalate (DiDP), avec de plus petites quantités de diéthylhexylphtalate (DEHP). Ces substances chimiques sont capables de migrer hors des matériaux plastiques au fil du temps, et il

existe des preuves de leur toxicité, en particulier dans le cas du DEHP, qui est classé « toxique pour la reproduction » en Europe.

Dans l'ensemble, ces résultats apportent des preuves supplémentaires des possibilités concrètes de substitution des substances et des matériaux dangereux dans le secteur de l'électronique. Pour quasiment chaque type de matériau s'avérant contenir, dans un ou plusieurs des ordinateurs, soit des composés bromés, soit un RFB spécifique, soit du plastique PVC, on a trouvé des exemples de matériaux équivalents dans d'autres ordinateurs ne contenant aucune de ces substances chimiques.

La quantité de brome, la présence de certains RFB spécifiques, ou la concentration et la composition des phtalates dans les composants analysés ne semblent pas varier selon le pays d'achat de façon claire et régulière. En d'autres termes, on ne constate pas de différence systématique entre les ordinateurs portables qui ont été achetés dans des pays ayant des réglementations nationales limitant la présence de substances chimiques dangereuses dans les produits électroniques et ceux achetés dans des pays où de telles réglementations n'existent pas. Dans l'ensemble, les résultats laissent penser que les mesures réglementaires visant l'abandon du plomb, du cadmium, du mercure et du chrome hexavalent ont été mises en oeuvre au-delà des seuls pays concernés par ces législations – c'est-à-dire qu'une réglementation européenne comme RoHS aurait un impact effectif sur le marché mondial.

Dans certains matériaux, le processus d'élimination d'une substance chimique dangereuse donnée semble s'être généralisé (dans les échantillons analysés), c'est par exemple le cas du plomb dans les soudures. Ceci n'est toutefois pas le cas pour toutes les substances chimiques couvertes par notre étude. Les résultats indiquent que des composés halogénés (c'est-à-dire bromés ou chlorés) et d'autres substances chimiques dangereuses sont encore présents dans les ordinateurs portables de grande marque. Ces substances comprennent le brome, indicateur de la présence de retardateurs de flamme bromés (RFB), le PVC utilisé pour les gaines des câbles électriques, et les phtalates utilisés comme plastifiants dans les câbles externes d'alimentation électrique. De plus, certains matériaux alternatifs à ceux qui sont couramment utilisés pourraient être tout autant préoccupants : ainsi, dans le cas d'un câble (fourni avec un ordinateur portable Acer), le matériau apparemment utilisé à la place du PVC s'est avéré être un mélange encore plus dangereux de phtalates plastifiants (dont du DEHP).

Il est important de noter que les résultats et les conclusions de la présente étude ne concernent que les matériaux et composants analysés lors de celle-ci, qui ne représentent qu'une portion du grand nombre de matériaux et composants présents dans les ordinateurs portables. L'absence d'une certaine substance chimique dans les échantillons d'un ordinateur parmi ceux analysés ne signifie pas que celui-ci est totalement dépourvu de cette substance chimique. Il n'est donc pas possible de dire si les ordinateurs analysés respectent totalement la législation européenne RoHS, ou les réglementations équivalentes d'autres pays. Qui plus est, cette étude concerne certains modèles donnés pour chaque marque, et ne reflète donc pas forcément les utilisations de substances chimiques pour l'ensemble des produits d'une marque. Ces remarques soulignent la grande difficulté qu'il y a à vérifier si un produit donné, ou une marque dans son ensemble, est totalement dénuée d'une substance chimique donnée.

Bien que certains RFB (dont la plupart des PBDE) réglementés dans certains pays ou régions, du fait de leur toxicité et de leurs propriétés chimiques, n'aient été présents qu'en faibles concentrations (voire pas du tout) dans le petit sous-ensemble des échantillons étudiés, les résultats indiquent que d'autres composés bromés ou d'autres matériaux contenant du brome continuent d'être utilisés dans les ordinateurs d'où proviennent les échantillons. Durant les opérations d'élimination et/ou de recyclage (en particulier l'incinération, la seconde fusion et le brûlage incontrôlé), la présence de chlore ou de brome fixé aux matières organiques sous quelque forme que ce soit est préoccupante car susceptible de contribuer à la formation de divers produits de combustion dangereux, notamment du bromure d'hydrogène et des dioxines et furannes bromés.

Il semble probable que l'absence de certaines substances chimiques dangereuses dans les ordinateurs portables ayant fait l'objet de cette étude résulte en grande partie de l'influence d'un certain nombre de législations récemment mises en place dans certains pays, en particulier de la directive européenne

RoHS qui a entraîné des changements dans cette industrie mondialisée qui se répercutent même en dehors de l'UE. Tous les échantillons analysés, tous modèles et toutes marques confondus, respectaient les dispositions de la directive européenne RoHS, qu'ils aient été achetés au dedans ou au dehors l'UE. De plus, même si la législation chinoise est entrée en vigueur après la date d'achat des ordinateurs portables couverts par cette étude, il semble que tous les échantillons tirés d'ordinateurs achetés en Chine sont d'ores et déjà en conformité avec celle-ci. Les législations qui réglementent actuellement ce secteur ne couvrent pas, loin s'en faut, l'ensemble des pays où ces produits sont vendus. Bien qu'elles aient entraîné des changements en dehors de l'UE et de la Chine, ces législations n'empêchent pas la vente dans d'autres pays de produits contenant l'une ou l'autre des substances chimiques dangereuses visées, comme cela a été récemment observé dans d'autres études similaires. Seule la généralisation d'une réglementation adéquate à l'échelle du marché mondial pourra garantir la protection des consommateurs et permettre des pratiques de recyclage sûres et de qualité égale.

Telles qu'elles se présentent, même les réglementations européenne et chinoise ne couvrent pas l'utilisation de toutes les substances dangereuses qui peuvent être présentes dans les équipements électriques et électroniques. Comme cette étude l'a démontré, les produits de ce type peuvent contenir d'autres substances dangereuses que celles actuellement réglementées par ces législations (par exemple d'autres RFB, du PVC, des phtalates). D'autres études récentes ont souligné les impacts que peut avoir l'utilisation de RFB encore non réglementés, notamment l'exposition des travailleurs du recyclage au déca-BDE<sup>1</sup>, et les conséquences potentielles sur l'environnement du recyclage et de l'élimination de produits contenant d'autres RFB également non réglementés<sup>2</sup>. Toute législation qui se fixe pour objectif de protéger la santé humaine et l'environnement ne peut se contenter de limiter l'utilisation de quelques substances chimiques dangereuses dans les produits ; en définitive, cet objectif ne peut être atteint qu'en couvrant l'ensemble des substances dangereuses.

La suppression de toutes les substances chimiques dangereuses présentes dans les ordinateurs portables et autres équipements électriques et électroniques peut être obtenue par le biais de législations nationales et/ou d'engagements pris de leur propre initiative par les fabricants. L'histoire européenne en matière de substances chimiques dangereuses a toutefois démontré que la mise en oeuvre de mesures volontaires ou négociées marche mieux quand elle est motivée par la perspective d'une future réglementation. Ceci a certainement été le cas pour la directive RoHS, qui a eu une influence prépondérante sur les matériaux utilisés dans les ordinateurs portables bien au delà de l'UE, avant même son entrée en vigueur officielle en juillet 2006.

---

<sup>1</sup> Bi, X., Thomas, G.O., Jones, K.C., Qu, W., Sheng, G., Martin, F.L., Fu, J. (2007) Exposure of Electronics Dismantling Workers to Polybrominated Diphenyl Ethers, Polychlorinated Biphenyls, and Organochlorine Pesticides in\* \*South China. *Environmental Science and Technology* 41: 5647-5653

<sup>2</sup> Stutz, M., Riess, M., Tungare, A.V., Hosseinpour, J., Waechter, G., Rottler, H. (2000) Combustion of Halogen-free Printed Wiring Boards and Analysis of Thermal Degradation Products. *Proceedings Electronic Goes Green 2000*, 127-132. Gullet, B. K., Linak, W. P., Touati, A., Wasson, S. J., Gatica, S., King, C. J. (2007). Characterization of air emissions and residual ash from open burning of electronic wastes during simulated rudimentary recycling operations, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 9(1): 69-79.

## **Annexe : Les substances chimiques dangereuses couvertes par la présente étude**

**Le plomb (Pb)** a longtemps été utilisé comme composant majeur pour les soudures dans les produits électroniques<sup>3</sup>. Le plomb est hautement toxique pour les humains, les autres animaux et les plantes. Il peut s'accumuler dans l'organisme par des expositions répétées et a des effets irréversibles sur le système nerveux, en particulier sur celui encore en développement des enfants. L'exposition peut aussi avoir des effets sur le cœur, les reins et le cerveau. Pour de nombreux effets connus, on ne connaît pas de niveau d'exposition sans danger<sup>4</sup>.

**Le chrome hexavalent (Cr VI)** est l'une des formes chimiques du métal chrome qui est bien plus réactive et mobile dans l'environnement que les autres formes de chrome. Il a principalement été utilisé dans les produits électroniques pour protéger des surfaces métalliques contre la corrosion. Le chrome hexavalent est hautement toxique même en faible concentration, et est connu comme étant cancérigène pour l'homme dans certaines conditions<sup>5</sup>.

**Le mercure (Hg)** est un métal hautement toxique qui a été utilisé pour diverses applications dans des produits électriques. L'exposition peut avoir des effets sur la santé, notamment en endommageant le système nerveux central et les reins. Une fois dans l'environnement, le mercure peut être converti en composés hautement bioaccumulables, en plus d'être toxiques, même à de très faibles niveaux d'exposition<sup>6</sup>.

**Le cadmium (Cd)** a été utilisé pour un certain nombre d'applications dans des produits électroniques, à la fois sous sa forme métallique et dans des composés de cadmium. Ce métal toxique peut s'accumuler dans l'organisme au fil du temps, une exposition à long terme endommageant les reins et les structures osseuses. Le cadmium et ses composés sont également connus comme étant cancérigènes pour l'homme<sup>7</sup>.

**Les retardateurs de flamme bromés (RFB)** : il y a potentiellement un très grand nombre de composés chimiques bromés qui peuvent servir de RFB<sup>8</sup>. Des exemples courants comprennent les **polybromodiphényléthers (PBDE)** et le **tétrabromobisphénol A (TBBPA)**, ainsi que les matériaux polymériques et oligomériques bromés. Certains RFB, notamment certains PBDE, sont connus pour leurs propriétés toxiques. Certains sont très persistants dans l'environnement et capables de se bioaccumuler (c'est-à-dire de s'accumuler dans les tissus organiques des animaux, humains compris). Sous quelque forme que se présente le brome, ses impacts peuvent se traduire en fin de vie d'un

---

<sup>3</sup> Geibig J.R., Socolof M.L. (2005), « Solders in Electronics: A Life-Cycle Assessment », US EPA, 744-R-05-001 ; Lau J.H., Wong C.P., Lee N.C. & Ricky Lee S.W. (2003), « Electronics Manufacturing with Lead-Free, Halogen-Free & Conductive-Adhesive materials », McGraw-Hill, ISBN 0-07-138624-6.

<sup>4</sup> Spivey A. (2007), « The weight of lead, effects add up in adults », Environmental Health Perspectives, 115(1): A30-A36.

<sup>5</sup> ATSDR (2000), « Toxicological Profile for chromium », United States Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, septembre 2000 ; Centre international de recherche sur le cancer, CIRC (1990) « Chromium » dans la monographie du CIRC « Chromium, Nickel and Welding », monographies du CIRC, Vol. 49, p.677, ISBN 9283212495.

<sup>6</sup> ATSDR (1999a), « Toxicological Profile for mercury », United States Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, mars 1999 ; Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) (2002), « Evaluation mondiale du mercure », PNUE Substances chimiques, Genève, Suisse. Trouvable sur [www.chem.unep.ch/mercury](http://www.chem.unep.ch/mercury).

<sup>7</sup> ATSDR (1999b), « Toxicological Profile for cadmium », United States Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, juillet 1999 ; DHHS (2005) « 11th Report on Carcinogens », U.S. Department of Health and Human Services, US Public Health Service, National Toxicology Program.

<sup>8</sup> Lassen C., Lokke S. & Hansen L.I. (1999), « Brominated Flame Retardants: substance flow analysis and substitution feasibility study », Danish Environmental Protection Agency Environmental Project No. 494, Copenhagen, ISBN 87-7909-415-5: p.240.

produit par la formation involontaire de sous-produits bromés toxiques (notamment des dioxines) durant certaines opérations d'élimination ou de recyclage<sup>9</sup>.

**Le PVC (polychlorure de vinyle)** est un plastique couramment utilisé dans les produits électriques, en particulier pour les gaines de câbles. Bien que le PVC ne soit pas directement toxique, comme le plomb ou le mercure, ce plastique présente des problèmes qui lui sont propres au niveau de sa production et de sa gestion sous forme de déchet à cause du chlore qu'il contient, qui se fixe aux matières organiques. De plus, l'utilisation de PVC pour certaines applications nécessite l'ajout d'autres substances chimiques dans le plastique, notamment des phtalates pour le plastifier (assouplir).

**Les phtalates** constituent un groupe de substances chimiques possédant toutes des structures similaires, dont beaucoup sont couramment utilisées comme plastifiants (assouplissants) dans la production de plastiques, en particulier de PVC. Ces substances chimiques ne sont pas fixées chimiquement au plastique, et sont donc capables de migrer hors des matériaux au fil du temps et de se retrouver dans l'environnement là où ils se trouvent. De nombreux phtalates sont toxiques pour la faune et les humains, souvent par le biais de leurs métabolites (les substances chimiques en lesquelles ils se décomposent dans l'organisme). Certains phtalates couramment utilisés sont connus comme étant toxiques pour la reproduction, c'est-à-dire capables d'altérer le système reproductif des mammifères mâles et femelles<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> Stutz M., Riess M., Tungare A.V., Hosseinpour J., Waechter G., Rottler H. (2000), « Combustion of Halogen-free Printed Wiring Boards and Analysis of Thermal Degradation Products », actes du colloque « Electronic Goes Green 2000 », 127-132 ; Gullett B.,K., Linak W.P., Touati A., Wasson S.J., Gatica S., King C.J. (2007), « Characterization of air emissions and residual ash from open burning of electronic wastes during simulated rudimentary recycling operations », Journal of Material Cycles and Waste Management 9(1) : 69-79.

<sup>10</sup> Park J.D., Habeebu S.S.M. & Klaassen C.D. (2002), « Testicular toxicity of di-(2-ethylhexyl)phthalate in young Sprague-Dawley rats », Toxicology 171 : 105-115 ; Gray L.E., Ostby J., Furr J., Price M., Veeramachaneni D.N.R. & Parks L. (2000), « Perinatal exposure to the phthalates DEHP, BBP and DINP, but not DEP, DMP or DOTP, alters sexual differentiation of the male rat », Toxicological Sciences 58(2) : 350-365.